

## 顕しの貫がある土壁の復元力特性

### Restoring Force Characteristics of Mud-Wall with Penetrating Tie Beams in Front of Wall

中治弘行<sup>1</sup>・鈴木祥之<sup>2</sup>

Hiroyuki Nakaji and Yoshiyuki Suzuki

<sup>1</sup>公立鳥取環境大学 環境学部環境学科准教授 (〒689-1111 鳥取市若葉台北一丁目1番1号)

Assoc. Professor, Tottori University of Environmental Studies, Faculty and Department of Environmental Studies

<sup>2</sup>立命館大学教授, 衣笠総合研究機構 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東1-1-1)

Professor, Ritsumeikan University, Kinugasa Research Organization

Based on cyclic shear loading experiments of mud-walls with large section size of penetrating tie beams in front of wall, the effect of tie beams on the restoring force characteristics of mud-walls is examined. Two types of specimens of mud-walls: 1) with two penetrating tie beams and 2) with three ones were prepared and tested. Test results were compared with the proposed design method for traditional timber buildings. The results shows that the restoring force characteristics of mud-walls with penetrating tie beams can be estimated by adding the shear force derived from moments of column joints and tie beam joints to the shear force of mud-wall panel.

**Keywords :** *mud-wall, restoring force characteristics, tie beam, full-scale experiment*

## 1. はじめに

多くの伝統構法木造建物では、通常の土壁では下地材として用いられる貫よりも大断面の貫が壁面外に顕しになっている土壁が用いられている。このような「顕しの貫がある土壁」復元力特性が明らかになれば、「顕しの貫がある土壁」を有する伝統構法木造建物の耐震性能評価において有用であると考えられる。

本研究では、岐阜県中津川市加子母の芝居小屋「明治座」(岐阜県重要有形民俗文化財、写真1)の耐震改修工事に先立って行われた実測調査結果に基づいて作製された試験体の面内せん断加力実験結果を示すとともに、「伝統的構法の設計法作成及び性能検証実験」検討委員会で提案された設計用復元力特性<sup>1)</sup>との比較を行って、「顕しの貫がある土壁」の設計用復元力特性を検証することを目的とする。



写真1 加子母明治座に見られる顕しの貫

## 2. 実験概要

試験体軸組図を図1に示す。両面顕し貫の試験体(MEIJ-R)では、片面に2本、反対側に1本の貫が顕しとなっており、片面顕し貫の試験体(MEIJ-K)では、片面に2本の貫が顕しとなっている。柱と貫およびくさびはヒノキ、桁と土台はマツである。くさびは厚さ10mm、幅30mm、長さ240mmの1枚板であり、柱の外側に60mmずつ出るように対称に打ち込まれている。表1に、試験体名称と試験体数を示す。表1における「枠材」は、MEIJ-Rの2体およびMEIJ-Kの1体を実験した際に同様に見られた土壁の面外への崩壊を防ぐ目的で設置された。N50釘を用いて約150mmピッチで15mm角のスギ材を試験体の柱、土台、桁に留め付け、土壁の面外変形のみを抑えることを期待した。写真2に示すように、隅角部では端から18mmの隙間を

設け、枠材が木造軸組の変形を拘束しないようにした。MEIJI-R、MEIJI-K 試験体ともに、壁厚さは、図 2 に示すように、荒壁 30mm、中塗り仕上げ両面 12mm ずつ、合計 54mm とした。

木工事と小舞下地までを加子母の中島工務店で施工した後、2014 年 9 月 30 日に鳥取環境大学(2015 年 4 月 1 日に「公立鳥取環境大学」に名称変更)建築構造実験室に搬入した。10 月 17 日～19 日にかけて、荒壁つけ、裏返しを行い、10 月 27～28 日にムラ直し、中塗り仕上げを行った。左官工事は鳥取県八頭町の山根左官に、枠材設置は鳥取県倉吉市の池田住研に、それぞれ依頼した。

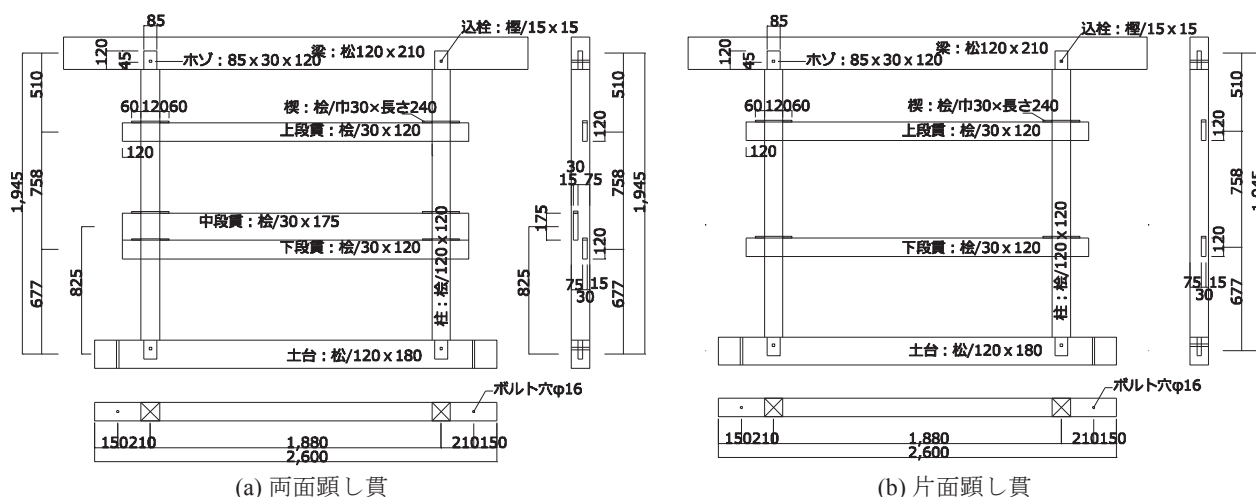


図 1 試験体軸組図

表 1 試験体一覧

試験体名称	張り貫	試験体数
MEIJI-R	両面	3 体 (うち 1 体は枠材あり)
MEIJI-K	片面	3 体 (うち 2 体は枠材あり)

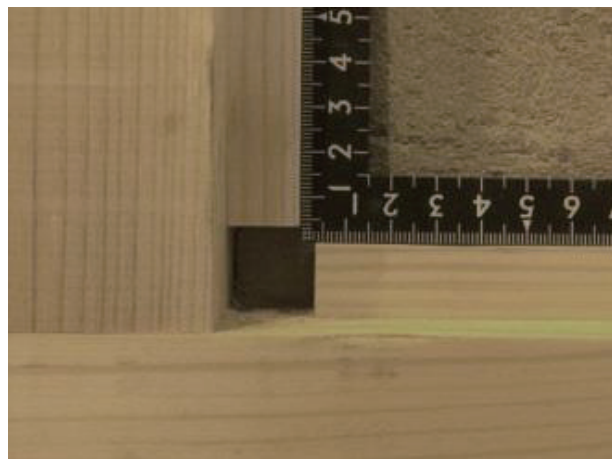


写真 2 15mm 角の枠材

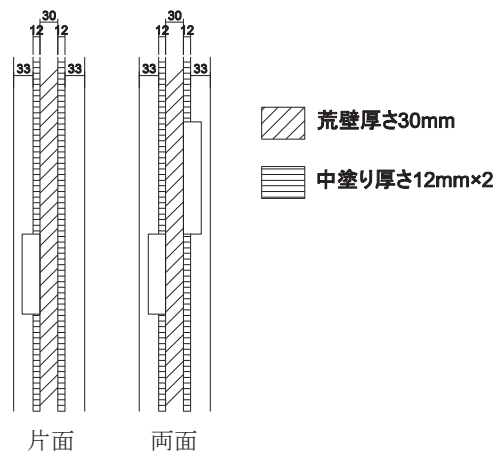


図 2 壁厚さは 54mm

計測概要を図 3 に示す。部材接合部の変位(↑)と柱材軸方向のひずみ(■)を計測した。MEIJI-R-1 試験体の実験時の設置状況を写真 3 に示す。見かけの変形角が 1/480、1/240、1/120、1/90、1/60、1/45、1/30、1/20、1/15、1/10、1/7rad まで増大し、かつ、同一変形を 3 回繰り返すような正負繰り返し加力とした。写真 3 に示すように、鋼製おもりを桁からワイヤーで吊して、9.62×2 (kN) の鉛直荷重  $W$  を作用させた。

荷重変形関係を図 4 に示す。また、図 4 のグラフの第 1 象限で各折り返し変形点を結んだ包絡線を図 5 に示す。図 4 および図 5 では、(1)式を用いて、おもりによる  $P\Delta$  効果を除いた復元力  $P'$  を縦軸にとっている。

$$P' = P + W \tan \gamma \quad (1)$$

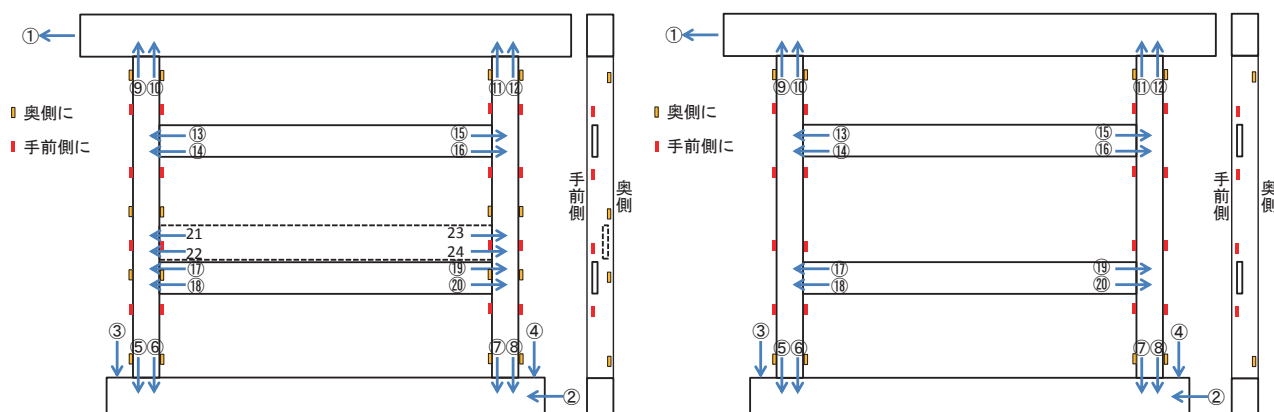


図3 計測概要



写真3 MEIJI-R-1 試験体設置状況

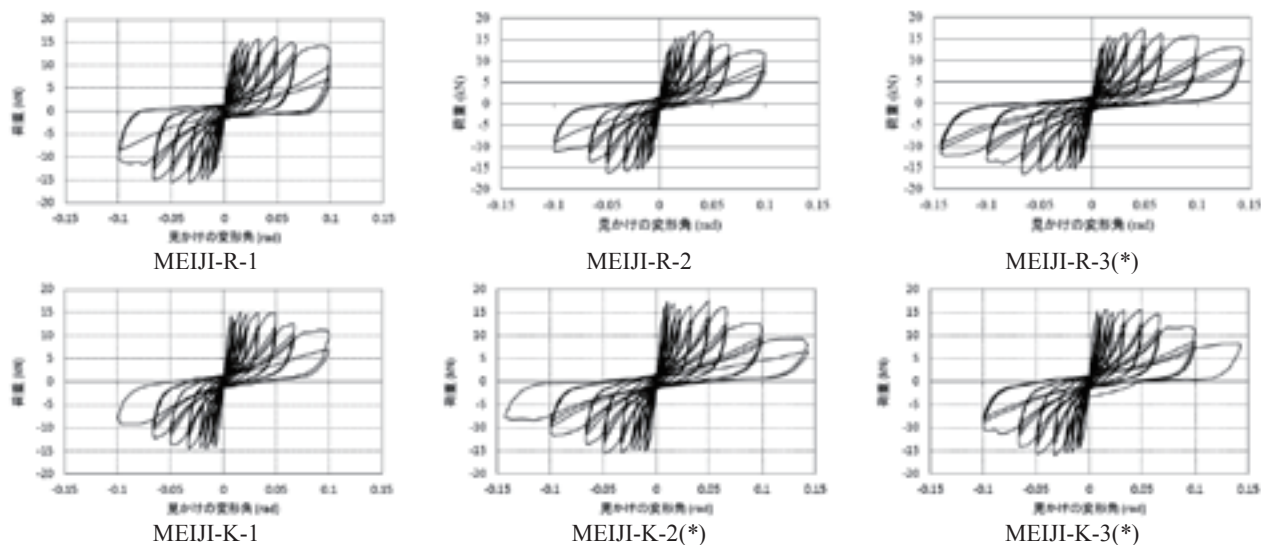


図4 荷重変形関係

ここで、 $P$ は実験で計測した荷重 (kN)、 $W$ はおもりによる鉛直荷重 (kN)、 $\gamma$ は見かけの変形角 (rad)である。

MEIJI-R-1、MEIJI-R-2 および MEIJI-K-1 試験体では、 $1/10\text{rad}$  変形時に壁土が小舞下地ごと大きく脱落したので、そこで実験を終了している。図4および図5で(\*)の試験体は写真2で示した枠材付であり、少なくとも MEIJI-R-3 試験体では、壁土の大きな脱落がなく  $1/7\text{rad}$  変形を3回繰り返すまで実験することができた。図4および図5において、枠材の有無の影響による復元力特性の違いは見られない。

途中の損傷状況の一例として、枠材を取り付けた MEIJI-R-3 の場合を以下に述べる。 $1/90\text{rad}$  でひび割れが見え始める。 $1/60 \sim 1/45\text{rad}$  で隅角部と貫に沿ったひび割れが目立つ一方、壁中央部でのひび割れは顕著ではない。 $1/30 \sim 1/20\text{rad}$  で、下段貫下部の壁土にひび割れが目立ち出すが大きな耐力低下は見られない。貫仕口での楔のめり込み変形が4メートルほどの遠くからでも視認できる。 $1/15\text{rad}$  時の復元力は約  $15\text{kN}$ 、左柱脚



隅角部で壁土の剥落が見られる。1/10rad 時の復元力は約 13kN、柱脚の抜けが増大する（実験終了後に解体したところ、柱の長ほぞに折損が見られた）、下段貫下で裏面の壁土が剥落するなど、損傷が進む。貫と柱の隅角部での壁土の圧壊も進展する。3 回目の正方向で壁上部の脱落が生じないので、枠材が有効であったと言える。1/7rad 時の復元力は約 9.8kN であり、大変形で復元力が低下しているとは言え、1/10rad の 3 回目より上昇しており、復元力を保持していると言える。裏面では、枠材をつけなかった中段貫に沿った箇所から壁がめくれあがっている。その後、壁の大きな崩落には至らず実験を終了した。MEIJI-R-3 について、3 度目の 1/90rad 時および 1/20rad 時の全景を写真 4 に、実験終了時の全景を写真 5 に、それぞれ示す。

枠材を設けない試験体 MEIJI-R-1、MEIJI-R-2 および MEIJI-K-1 試験体では、1/15rad 変形を繰り返すうちに、壁土のひび割れ進展に加えて、小舞下地を伴って土壁全体が柱桁軸組から外れるような面外変形が大きくなり、1/10rad 変形に至ると、写真 6 に示すように壁が大きく脱落するという破壊が見られた。両面に貫のある MEIJI-R-1 および MEIJI-R-2 試験体では、裏面の中段貫にぶら下がるようにして上半分が脱落するが、それのない MEIJI-K-1 試験体では、1/10rad 変形を 2 回繰り返すと土壁が完全に脱落してしまった。このような破壊に至る原因について、写真 7 に示すように、小舞下地で重要なガイドとなる間渡しし竹と柱や桁、土台との接合が簡易過ぎるためではないかと考える。

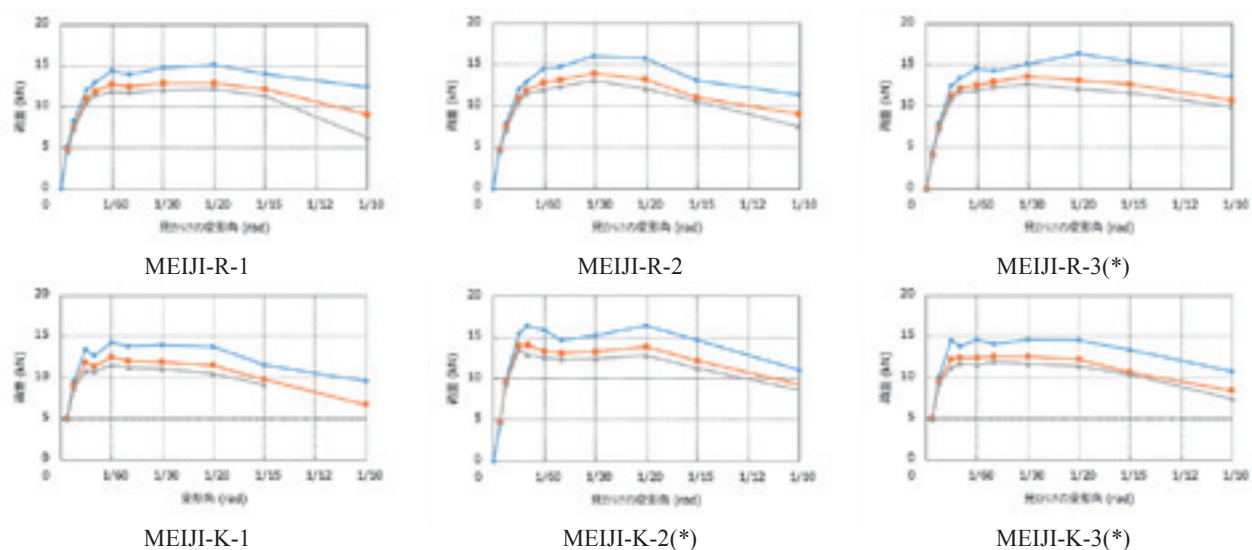


図 5 包絡線（青色線は 1 回目、赤色線は 2 回目、灰色線は 3 回目の繰り返しを示す）



1/90 rad の 3 回目

写真 4 MEIJI-R-3 の損傷状況



1/20 rad の 3 回目



写真 5 MEIJI-R-3 の実験終了時



MEIJI-R-1



MEIJI-R-2



MEIJI-K-1

写真 6 土壁全体の脱落



写真7 間渡し竹端部の納まり

### 3. 設計用復元力との比較

「伝統的構法の設計法作成及び性能検証実験」検討委員会で提案された詳細設計法(案)<sup>1)</sup>の設計資料-3に記載された方法で、全面土塗り壁、長ぼぞ仕口、および貫仕口の加算を行い、設計用復元力を算定した。手順を以下に示す。

各層間変形角時のせん断応力度に壁長さと壁厚さをかけて、軸組を除いた土壁部分のみで負担するせん断力を求め(図 6)、軸組のぼぞ、顕し貫によるせん断力を加算する(図 7)。各層間変形角時の土壁のせん断応力度と、長ぼぞ仕口および貫仕口のモーメントを表 2 に示す。これらは、数多くの検証実験に基づき文献 1)で提案されている設計用復元力の値である。表 2 で、「貫仕口のモーメント」は、柱が 120mm 角で、「貫の厚さ 15~30mm、貫のせい 105~120mm」を適用範囲として提案されている<sup>1)</sup>。本実験では、MEIJI-R 試験体の中段貫のせいが 175mm であるため、中段貫の復元力特性への寄与は、表 2 の値よりも大きいと考えられる。つまり、貫のせいが大きくなると貫仕口でのめり込みの剛性はやや低下するが、それ以上に、柱幅が同じ場合、貫のせいが大きいほどめり込みの集中度が高まり、剛性・耐力ともかなり増大することが見込まれる。貫のせいが 165~180mm の場合の貫仕口のモーメントを解析的に算定した値を表 2 に併せて示す<sup>2)</sup>。

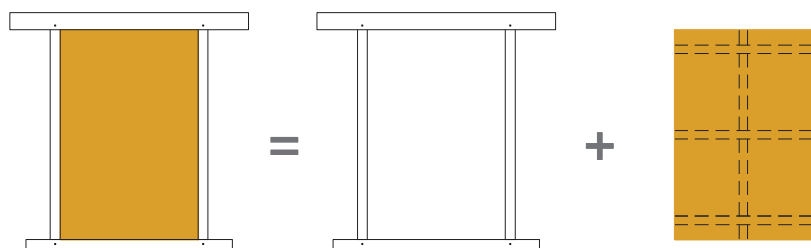


図6 全面土壁の復元力特性評価の考え方

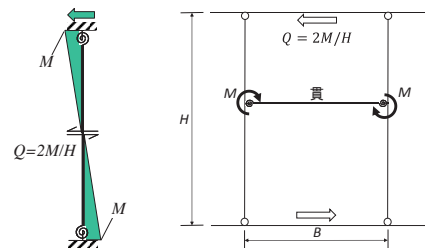


図7 長ぼぞ仕口、貫仕口のモーメント抵抗によるせん断力

表 2 特定変形角時の土壁のせん断応力度(kN/m<sup>2</sup>)と仕口のモーメント(kNm)

変形角 (rad)			1/480	1/240	1/120	1/90	1/60	1/45	1/30	1/20	1/15	1/10
土壁せん断応力度 (kN/m <sup>2</sup> )			30	54	86	96	98	93	84	72	58	34
長ぼぞモーメント (kN.m)			0.25	0.45	0.70	0.90	1.10	1.30	1.45	1.50	1.50	1.50
顕し貫モーメント (kN.m)	貫せい (mm)	105~120	0.08	0.15	0.30	0.40	0.48	0.51	0.56	0.63	0.71	0.86
		165~180	0.21	0.38	0.5	0.54	0.59	0.63	0.71	0.81	0.9	1.07

例えば、MEIJI-R 試験体について、見かけの変形角が 1/480rad のときの設計用復元力は、図 6、図 7 に基づき、表 2 の値を用いて次のようにして算定する。同様に、1/240rad、1/120rad、…、1/15rad、1/10rad 時の復元力を算定する。

- ✓ 土壁=30kN/m<sup>2</sup>×54×10<sup>-3</sup>m×1880×10<sup>-3</sup>m= 3.046 kN
- 壁厚さ=54mm、壁長さ=1880mm

- ✓ 柱ほぞ $=0.25\text{kNm} \times 2 \div 1.945\text{m} \times 2=0.514\text{ kN}$ 
  - 柱長さ (=壁高さ)  $=1.945\text{m}$ 、柱 2 本
- ✓ 頭し貫 $=0.08\text{kNm} \times 2 \div 1.945\text{m} \times 2+0.21\text{kNm} \times 2 \div 1.945\text{m}=0.380\text{ kN}$ 
  - 壁高さ $=1.945\text{m}$ 、貫 3 本
- ✓ 総和 $=3.046+0.514+0.380=\underline{3.94\text{ kN}}$

算定された設計用復元力特性を図 5 の包絡線と重ねて図 8 に示す。設計用復元力は、繰り返し加力の 2 回目あるいは 3 回目の包絡線の近くを示しており、実験結果をほぼ再現できていると言える。

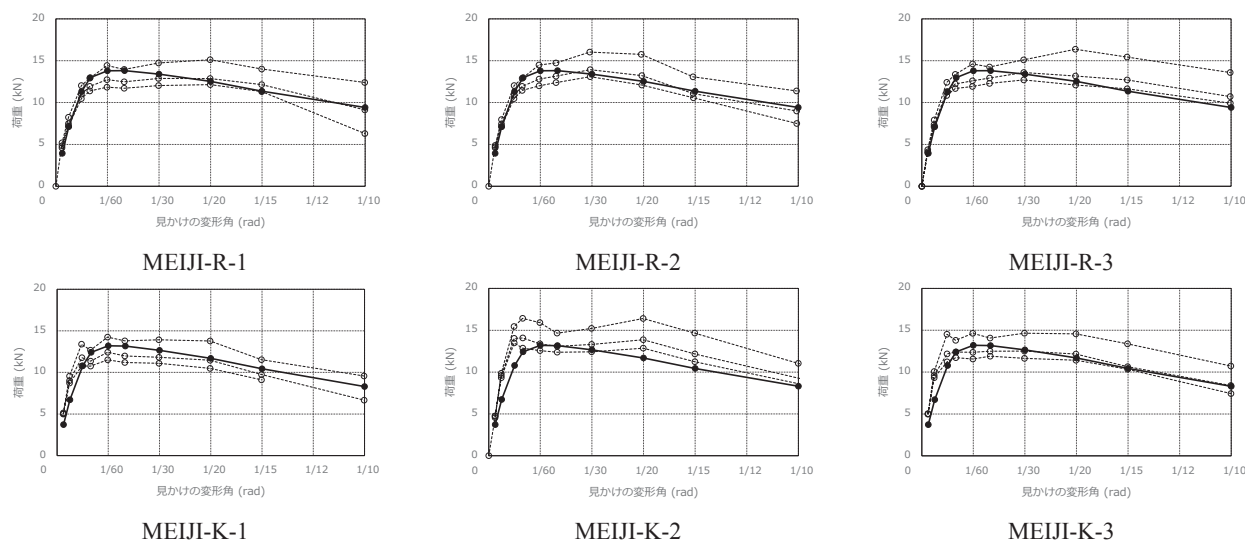


図 8 設計用復元力特性との比較（実線：設計用復元力、破線：実験結果）

## 4. まとめ

岐阜県重要有形民俗文化財加子母明治座の主要な耐震要素である「頭しの貫がある土壁」の実大面内せん断加力実験を行い、文献 1)で提案されている設計用復元力特性との比較を行った結果、以下のことが明らかになった。

- (1) 実験の結果、両面頭し貫試験体(MEIJ-R、頭し貫 3 段)の復元力は片面頭し貫(MEIJ-K、頭し貫 2 段)のものよりおよそ貫 1 本分大きい。つまり、設計用復元力の差(貫 1 本分)に近い。
- (2) 提案されている設計法に基づいて算出した復元力特性は、実験結果と比べてほぼ同等である。

以上から、「頭しの貫がある土壁」の復元力特性は、土壁(柱-土台、柱-桁の長ほぞを含む)に貫と柱の仕口におけるモーメント抵抗を加算することができる。「頭しの貫がある土壁」は、多くの伝統構法木造建物で用いられており、これらの建築物の耐震性能評価において、ここで得られた復元力特性を適用し得ることは大いに意義がある。

**謝辞：** 本実験は、明治座耐震改修検討委員会のもとに実施した。実験の実施ならびにデータ整理などについて、鳥取環境大学環境情報学部建築・環境デザイン学科の上杉周平君、長尾隼君、および鳥取環境大学環境学部の羽生明来君、渡部菜央君らの協力を得た。

注) 本論文は文献 3)に加筆修正したものである。

## 参考文献

- 1) 「伝統的構法の設計法作成及び性能検証実験」検討委員会：詳細設計法(案)，2014 年
- 2) 棚橋秀光・大岡優・伊津野和行・鈴木祥之：伝統的構法の楔をもつ仕口のめり込みメカニズム，歴史都市防災論文集 Vol. 7，2013 年 7 月，pp.97-104.
- 3) 中治弘行・鈴木祥之：頭し貫のある全面土塗り壁の復元力特性，日本建築学会近畿支部研究報告集，2015 年 6 月(投稿中)